

KDAJ JE »KOPERNIKANSKA« REVOLUCIJA POSTALA ZNANSTVENA REVOLUCIJA?

Andrej Ule

1. Kaj se konča in kaj se prične s Kopernikom?

Preden grem dalje v razpravo o Koperniku, moram opozoriti, da nikakor ni dvoma, da je Kopernik s svojim delom sprožil pomembno zgodovinsko dogajanje, ki se je kasneje razraslo v splošno transformacijo kulture, ki se je tesno navezovalo na druga prevratna gibanja v kulturi, znanosti in družbi (humanizem, renesansa, reformacija, pomembna odkritja) in so v slabih dveh stoletjih »pometla« s srednjeveško kulturo in znanostjo. V kolikor je bil Kopernik eden od odločilnih sprožilcev tega dogajanja, v toliko bi lahko govorili o »kopernikanskem deležu« v tem dogajanju, ne pa, da se govori o nekakšni globalni »kulturni revoluciji«, katere pobudnik in vodja bi bil Kopernik. Vsekakor je imela zgodovina učinkovanja Kopernikovega dela veliko obrazov, nekateri so bili bolj prevratni kot drugi, vendar je za te obraze bolj malo odgovoren Kopernik oziroma njegovo delo, še manj drži, da je Kopernik nameraval sprožiti kako obsežno kulturno in družbeno preobrazbo. Mnogi so se sklicevali na Kopernika, ko so zagovarjali svoje teoretske, filozofske, religiozne ali celo politične inovacije, še več je bilo verjetno onih, ki so ga krivili za vse mogoče nadloge, idejni in družbeni kaos itd., vendar te retorike ne smemo zamenjati s stvarnim vplivom Kopernikovih idej.

Moramo konceptualno razlikovati med splošnim učinkovanjem Kopernikovih idej v naslednjih dveh stoletjih (recimo temu »ideološki« učinki) in ožjim segmentom tega učinkovanja v sami znanosti oziroma naravoslovju.¹ Skratka, sprašujem se o tem, kdaj lahko govorimo o znanstveni revoluciji fi-

¹ Popper npr. razlikuje »znanstvene« revolucije od »ideoloških« revolucij, ki včasih spremljajo znanstvene revolucije. Ideološka revolucija lahko služi racionalnosti ali jo spodkopuje, pogosto je le intelektualna moda. Četudi je vezana na racionalni značaj znanstvene revolucije, je ideološka revolucija lahko močno iracionalna in zavestno prekinja s

zike in astronomije in koliko jo lahko pripišemo Koperniku. Kuhnovsko rečeno, gre za vprašanje, kdaj lahko govorimo o prelomu s staro paradigmo in o nepovratni spremembi paradigme. Vemo, da gre za obdobje konstitucije novoveške znanosti in s tem konstitucije prve prave znanstvene paradigme moderne znanosti. Torej ne gre le za običajno zamenjavo paradigem, temveč tudi za konstituiranje novega tipa znanosti, ki vse do danes ni doživel resnejših izzivov. To obdobje sega nekako od objave Kopernikove *De Revolutionibus* sredi 16. stol. do prodora Newtonove mehanike sredi 18. stol., torej za obdobje 200 let. Jasno je, da je nemogoče reči, kdaj v tem časovnem kontinuumu se je »natanko« zgodil kak odločilni prelom, mnenja o tem so skrajno različna, od onih, ki tak prelom pripisujejo Koperniku, do onih, ki menijo, da se je zgodil šele z Newtonovimi *Principia* oziroma še kasneje.²

Kopernik se je sicer skliceval na večjo enostavnost in preglednost svojega sistema v primerjavi s Ptolemajem, toda podrobnejši pregled pokaže, da ne gre za ravno velike razlike v enostavnosti, zlasti če upoštevamo tedanjo stopnjo natančnosti astronomskih podatkov. Kopernikovi poglobitni argumenti za lastno teorijo so pogosto res nekoliko estetski. Sklicuje se na harmonično ureditev sveta, npr. na sorazmernost sveta, trdno harmonično povezavo med gibanjem planetov in velikostjo planetnih sfer (orbit) ipd. (Kopernik, 2004, 71). Vendar nas to ne sme zavesti v misel, da je Kopernik sprejemal kako zgolj konvencionalistično tolmačenje svojega astronomskega sistema, po katerem

tradicijo (Popper, 1981, 106). Po Popperju znanstvene revolucije ne prekinjajo s tradicijo, kajti morajo ohranяти uspehe predhodnikov. Težava je, da je konstitutivno obdobje novoveške znanosti pomenilo tudi znaten prelom s tradicijo, in to tako po metodološki kot konceptualni strani in ne le »ideološki« prelom. Kljub temu v grobem lahko sprejmemo Popperjevo razlikovanje notranje znanstvenih preobrazb od splošnejših idejnih in kulturnih preobrazb, ki spremljajo znanstvene preobrazbe ali se »lepijo« nanje.

² Razlikovati moramo še med neposrednim učinkovanjem Kopernikovega dela na znanost, filozofijo, teologijo in *metaforičnim* učinkovanjem tega dela, namreč kot metaforo »preobrata na glavo«, »izgube središča«, poganjanja v gibanje, nečesa kar se je zdelo stabilno in trdno itd. Tudi ta oblika posrednega učinkovanja Kopernikovega dela se je pojavila že zgodaj in predstavlja trden del družbenih, kulturnih in idejnih sprememb v stoletjih po Koperniku. Metaforični učinek izhaja od tod, ker Kopernikovega dela ne jemljemo kot spoznanje, kot hipotezo, temveč kot metaforo človekovega položaja v kozmosu (vprašanje, kaj pomeni človek v »decentriranem« svetu, ko je skupaj z Zemljo postavljen nekam na »rob« kozmosa (osončja, naše galaksije itd.). Na metaforično, a kljub temu realno učinkovanje Kopernikovega dela opozarja Blumenberg v svoji knjigi o »metaforologiji« (Blumenberg, 1998: 144). Seveda je do metaforičnega učinkovanja Kopernikovega dela prišlo šele potem, ko se je vmešala Cerkev, protestantska duhovščina in drugi branilci »svetih« tradicij, ki so se ustrašili za svoj do tedaj navidezno trdni in »centralni« družbeni položaj. Kopernik, ki je bil v vprašanih teologije, politike in kulture razmeroma konservativen, seveda o tem ni vedel nič oz. teh sprememb niti v sanjah ni nameraval sprožiti. Tudi ta vidik učinkovanja Kopernikovega dela tu izpuščam iz vida.

naj bi šlo le za bolj koherenten in logično urejen astronomski sistem kot so bili drugi do tedaj podani sistemi. Ne to: Kopernik je bil prepričan v realistično in realno vrednost svojega sistema, tj. v to, da podaja tudi resničen prikaz dejanskega ustroja nebesnega sveta, kajti logična urejenost, koherentnost in tudi »miselna estetika« sistema so zanj tudi dokazila resničnosti, tj. tega, da njegov sistem pravilno podaja »obliko sveta«. Nasprotno pa je zbrkljanost ptolemajske astronomije zanj znak njene neresničnosti.³ Prav v tej točki se je Kopernik ločil od instrumentalistične interpretacije svoje knjige, kot jo je podal Ossiander v svojem anonimnem predgovoru h Kopernikovi knjigi.

Vsekakor Kopernikovo delo še ne predstavlja dokončnega preboja stare, tj. sholastične kozmološke paradigme ali bolje kozmološke konceptualne sheme. Ta je obsegala mešanico delno heterogenih sestavin: dele aristotelizma in (neo)platonizma (vključno z arabsko in judovsko recepcijo aristotelizma), geocentrično astronomijo Ptolemaja in njegovih zlasti arabskih naslednikov, astrologijo, antično in arabsko matematiko ipd. Kljub videzu dogmatične zaprtosti in koherence, ta konceptualna shema ni predstavljala logično zaključene in koherentne miselne in metodološke celote, nasprotno, vseskozi je poznala razcepe, ostra nasprotja in neskladja. Predvsem ni poznala izdelane metodologije glede opazovanja in razlage empiričnih pojavov. Sklicevanja na razne avtoritete (od svetih spisov do Aristotela, Tomaža Akvinskega ipd.) so bila prej mašila prelomov in nerešljivih teoretskih zagat (da omenimo le »spor« med nominalisti in realisti) kot izraz in znak gotovosti in samozadostnosti. Tudi Ptolemajev *Almagest* je vse prej kot homogena celota, je kar se tiče logične izdelanosti daleč od Evklidovih *Elementov*. Ptolemaj sam opozarja, da ne more obravnavati vseh gibanj (planetov) hkrati, temveč obravnava vsakega posebej ob pomoči primernih hipotez (nav. po Gardiner 1983, 208). To pomeni, da njegove teorije ne smemo imeti za enovit prikaz sistem kozmosa, temveč prej za skupek delnih rešitev posebnih astronomskih problemov. Strogo vzeto, ne moremo govoriti o Ptolemajevem »geocentričnem

³ Kopernik kritizira v svojem Predgovoru k *De revolutionibus* druge astronome (»matematike«), da ne uporabljajo istih načel in predpostavk ter dokazov pojavnih gibanj nebesnih teles, izmišljajo si različna delna središča gibanj planetov, pa vendar ne morejo v celoti razložiti vseh gibanj. Tako se jim zgodi, da »niso mogli odkriti ali pa iz njih izpeljati najvažnejšega, namreč oblike sveta in določene somernosti njegovih delov, pač pa se jim dogaja, kot če bi kdo z različnih mest vzel roke, noge, glavo in druge dele telesa, ki bi bili sicer zelo dobro naslikani, vendar ne, če jih primerjamo z enim in istim telesom, ter se med seboj ne bi nikakor ujemali, tako da bi se iz njih prej sestavila nakaza kakor pa človek« (Kopernik, 2004, 23). Kopernik od tod sklepa, da so ti teoretiki bodisi v svojih dokazih dodajali kaj, kar ne sodi k stvari bodisi izpuščali kaj nujnega. To je zanj znak, da se niso držali trdnih načel, kar pa nakazuje neresničnost njihovih hipotez: »Kajti če njihove privzete hipoteze ne bi bile napačne, bi se brez dvoma moralo potrditi tudi vse, kar iz njih izhaja« (Prav tam).

sistemu«, temveč le o »geocentričnem programu« astronomskih razlag in napovedi. Ptolemaj se je vsaj v *Almagestu* nagibal k instrumentalistični razlagi svoje teorije, oziroma se glede tega ne izjasni. Tako npr. meni, da je logično gledano, mogoče enako dobro braniti hipotezo o epiciklih (tj. o ožjih planetarnih krožnicah, ki se nekako kotalijo po planetarnih sferah) in hipotezo o ekscentrih (tj. o odmikih kinematskih središč kroženja planetov od geometrijskih središč sfer), obe hipotezi nam dajeta enako dobre izračune kotov, pod katerimi vidimo planete v določenem času. Obe hipotezi sta medsebojno zamenljivi, a ne moremo reducirati ene na drugo. Sam se je sicer odločil, da ima prednost hipoteza o ekscentrih, ker je enostavnejša in terja le eno gibanje, namesto dveh ali več (Gardner, 1983, 208).⁴

Kasnejši astronomi, zlasti arabski, so se močno trudili povečati koherentnost in sistematičnost Ptolemajevga programa, vendar niso mogli odstraniti vseh zagat in alternativnih rešitev, ki jih je ta program dopuščal. Posebej jih je motil manko vzročne razlage nebesnih gibanj, kajti Ptolemaj se je v *Almagestu* zavestno omejeval zgolj na matematično (bolje, geometrijsko) rekonstrukcijo kinematike nebesnih teles, ki naj bi »očuvala« pojave, tj. očuvala inherentno popolnost vseh nebesnih gibanj (tj. njihovo krožno naravo). Aristotelska »fizikalna« razlaga je ostajala kvečjemu v ozadju, kot neka neprevprašana predpostavka sistema, ni bila dejansko vpotegnjena v sistem, delno pa je bil Ptolemajev sistem v nasprotju z njo (npr. teorija epiciklov in ekvantov). Tako je npr. Averroes pisal, da bi moral astronom konstruirati tak astronomski sistem, iz katerega bi logično izhajala gibanja nebesnih teles in ne bi impliciral ničesar, kar je nemogoče s stališča (aristotelske) fizike. Ptolemajev sistem ne ustreza tej zahtevi, kajti epicikli in ekscentri so nemogoči. Zato je Averroes zahteval, da se je treba lotiti raziskav »prave« astronomije, ki temelji na fizikalnih nače-

⁴ Gardner opozarja, da je Ptolemaj nihal med instrumentalistično in realistično razlago, tako da je glede tega ambivalenten. Tako je npr. menil, da lahko določimo realna razmerja med razdaljami med planeti in lahko podamo prave orbite planetov (Gardner, 1983, 208). Po drugi strani najdemo pri Ptolemaju tudi realistične momente, npr. ko skuša s pomočjo svojega lunarnega modela določiti razdalje med planeti in v razlagah razlik v svetlosti planetov z njihovo oddaljenostjo od Zemlje. Tudi nekateri razlogi v prid geocentričnega sistema pred heliocentričnim so fizikalne narave, torej presuponirajo realistično tolmačenje geocentričnega sistema (gibajoča Zemlja bi privedla do nevzdržnih fizikalnih posledic za telesa na njej in v njeni bližini). Tudi sklicevanje na aristotelsko teorijo razlik med idealno fizično naravo nebeških teles in podlunarnega sveta, o naravi etrskih sfer itd. pričajo, da je Ptolemaj razumel svojo teorijo kot v osnovi stvarno podobo univerzuma in ne zgolj kot sredstvo za izračunavanje kotov, pod katerimi lahko v določenem času vidimo kako nebeško telo. V svojem kasnejšem delu *O planetarnih hipotezah*, ki pa v srednjem veku in v času kopernikanske revolucije ni bilo znano, je Ptolemaj dodal še več »realističnih« domnev, spekuliral je npr. o fizičnih vzrokih gibanja sfer, o načinu prenosa gibanja med njimi, poskušal je določiti oddaljenost med zemljo in planeti itd. (Gardner, 1983, 209).

lih. To, kar imamo danes, je bilo po njegovih besedah nekaj, kar sicer ustreza računom, vendar se ne ujema s tem, kar obstaja (nav. po Gardner, 1983, 212). Ta naloga je ostala neizpolnjena vse do novoveške astronomije, strogo vzeto, do Newtona, a to je pomenilo dokončno slovo od Ptolemaja. Ptolemajeva astronomija ni povsem ustrezala aristotelski fiziki, kajti po Aristotelu bi morala vsa nebesna gibanja izhajati iz gibanja »najvišje sfere«, tj. sfere zvezd stalnic, ki jo poganja »negibni gibalec«, tj. bog. Gibanje najvišje sfere se prek stikov med zaporednimi sferami planetov prenaša na nižje planetne sfere (in končno tudi na Zemljo). Ptolemajev sistem pa takšnega enostavnega prenosa gibanj ni dopuščal, kajti epiciklična gibanja niso bila krožna in niso imela središča v središču Zemlje, kot bi moralo biti po Aristotelu, a tudi ekscentri niso omogočali, da bi bila fizična središča vseh planetarnih gibanj v središču Zemlje, tj. da bi se vse nebo res vrtelo okrog Zemlje. Zaradi tega so že nekateri sholastiki skušali reformulirati aristotelsko fiziko in predvsem približati »zemeljska« in »nebeška« gibanja. Znana teorija imeptusa je bila eden od takšnih poskusov, ki je imela velik vpliv na Kopernika in kopernikance. Nekateri avtorji so razmišljali celo o delnem odmiku od geocentrizma (npr. Nikolaj iz Oresma).

Kopernikov sistem je sicer pojasnil navidezna retrogradna gibanja planetov in čudne časovne variacije v gibanjih planetov, ki so silila Ptolemaja in druge astronome v privzetje raznih epiciklov, deferentov, ekvantov itd., toda tudi sam ni mogel povsem brez epiciklov, a z manjšim številom kot Ptolemaj. Kopernikov sistem je bil v svoji zasnovi in na kvalitativni ravni enostavnejši od Ptolemajevega (npr. Ptolemaj je potreboval sedem glavnih epiciklov in še množico manjših ciklov, Kopernik le sedem krožnic za Luno, Zemljo in planete), toda ni tako točno napovedoval položajev planetov kot Ptolemaj. Zato je bil prisiljen tudi sam dodati manjše epicikle in ekscentre, tako da njegov celotni sistem ni bil veliko enostavnejši od Ptolemajevega (Kuhn, 1957, 196). Kuhn celo pravi, da Kopernik ni rešil problema gibanja planetov. Enako velja za kasnejši Brahejev sistem. Poleg tega po Kuhnovem mnenju Kopernikov sistem tudi ni bil dejansko heliocentričen, kajti zemeljska krožnica nima svojega središča v Soncu, temveč v nekem drugem centru nekoliko stran od Sonca (v t. i. ekscentru). Kopernik je to domnevo potreboval zato, da je pojasnil povečano hitrost navideznega gibanja Sonca skozi zodiakalna znamenja v zimskem času. Podobne epiciklične in deferentske popravke je Kopernik potreboval pri opisu gibanja drugih planetov okrog Sonca.

Če upoštevamo notranjo heterogenost »klasičnega« konceptualnega okvira astronomije in fizike, potem lahko vidimo, da je Kopernik predstavljal prej neko radikalno izpeljavo imanentnih teženj znotraj tega okvira, kot pa prelom z njim. Predvsem je poskušal poenotiti astronomski sistem, tj. ga skovati na podlagi enega osnovnega načela, ki bi dopuščal realne razlage planet-

nih gibanj, ne zgolj spretno izvedene matematične izračune gibanj. Pri tem je skušal spremeniti le najnujnejše, nikakor pa ne pomesti z vso aristotelsko-sholastično kozmologijo. Svoj heliocentrični sistem je zato vztrajno prikazoval kot nekaj, o čemer so razmišljali stari astronomi, celo Ptolemaj, vendar ga je zavrgel. Toda tudi Kopernik sam je ohranil pomemben del ptolemajske dediščine, npr. modificiran sistem epiciklov in planetnih sfer ter predstavo o najvišji sferi zvezd stalnic (ki je pri njem seveda konstantna in se ne vrti ne okrog Zemlje, ne okrog Sonca). Ohranil je tudi platonsko-pitagorejsko predstavo o nujni krožni naravi gibanj nebesnih teles, ki jo je delila vsa tradicija, pa aristotelsko predstavo o posebni, eterski naravi planetnih sfer. Seveda se je Koperniku primerilo to, kar najbrž ni pričakoval in še manj nameraval: da bodo njegovi popravki v astronomskem sistemu prinesli izjemno daljnosežne posledice in odpravili skoraj vse predpostavke sholastične astronomije. Podobno se je kasneje dogajalo še nekaterim »revolucionarjem« v znanosti (npr. Lavoisier, Einstein, Mendel), namreč da so sprva mislili, kako s svojimi prispevki delajo le nujno potrebne popravke ali dopolnila k obstoječim teorijam, a dejansko so prispevali k zrušitvi teh teorij. A tudi Kopernik še ni uresničil zahteve o »realni« astronomiji, kot jo je postavil Averroes (ne vem, ali je Kopernik vedel za to zahtevo), tj. kot fizikalno smiseln in razložen sistem gibanja nebesnih teles, kajti tudi on se je zaustavil pri sistemu, ki sicer *prikaže* gibanja planetov bolj enovito in bolj logično kot stari geocentrični sistemi, a ga ne *razlaga*.⁵

V tem smislu lahko paradoksalno rečemo, da je bil Kopernik zadnji veliki ptolemajevец, ki pa prelomi z geocentrizmom. Pravilneje in manj paradokсно bi bilo reči, da je bil zadnji v vrsti velikih »reševalcev fenomenov« od antike dalje. Kopernik je pustil odprto pot do fizikalne razlage gibanja planetov na podlagi heliocentrizma. S tem, ko je Zemljo prikazal kot enega od planetov (proti svoji volji), je nehote odprl pot za poenotenje »nebeške« in »zemeljske« fizike. Treba je bilo le poiskati matematično podane zakone o gibanju plane-

⁵ S tem pa ni rečeno, da Kopernikova teorija ni implicirala globokih konceptualnih sprememb, ki se jih ni zavedal niti Kopernik niti njegovi sodobniki. Šele kasneje se je počasi izkristalizirala neznanska novost te teorije. Kot pravi Kuhn v svoji »Strukturi znanstvenih revolucij«, je šlo za povsem nov odnos do problemov fizike in astronomije, predvsem odnos do Zemlje kot enega od planetov (Kuhn, 1996, 135). V stari astronomiji je Zemlja po svojem pojmu zavezana stabilnosti in nespremenljivemu centralnemu položaju v kozmosu, v novi astronomiji pa se giblje. Oprijemljivega središča kozmosa ni več oz. je pomaknjen v Sonce (ali blizu njega). Tudi pojem gibanja je doživel spremembo, saj se je prej gibanje določalo glede na absolutno referenčno točko, tj. glede na Zemljo oz. zemeljsko središče, sedaj pa je relativno (o tem pričajo tudi Galilejevi zakoni o relativnem gibanju). Kuhn meni, da brez sprememb v pojmu Zemlje in gibanja ne bi bilo možno sprejeti Kopernika (prav tam).

tov in jih navezati na kake splošne fizikalne zakone, tj. zakone gibanja materialnih teles. To je sicer lahko rečeno, a težko storjeno. Vemo, da je trajalo dvesto let, preden je bila ta naloga vsaj začasno zadovoljivo rešena. S Kopernikom se je sicer pričelo iskanje povsem novih teoretskih rešitev astronomskih problemov in novih fizikalno-astronomskih sistemov na heliocentrični osnovi, vendar to še ni bila prava znanstvena revolucija. Ta se je zgodila šele kasneje, takrat ko v resnici ni bilo več poti nazaj, tj. v »reševanje fenomenov«, kot sta ga poznala antika in srednji vek. Če bi ostalo le pri Kopernikovem kinematsko popisanem heliocentrizmu, bi še vedno bilo v načelu možno, da ponovno prevlada geocentrični ali vsaj delno modificiran geocentrični model.⁶ Enega od takšnih je kmalu po Koperniku predložil Tycho Brahe. Po tem modelu naj bi Sonce s planeti krožilo okoli Zemlje (in Lune), toda vsi preostali planeti naj bi krožili okrog Sonca. Kinematično in matematično gledano, so si bili Ptolemajev, Kopernikov in Brahejev sistem ekvivalentni, relativno enostavno jih je bilo izomorfno preslikati drug v drugega, tako da ni bilo načelnega razloga za to, da dajemo prednost enem od njih.

Kuhn sklene svojo primerjavo med Ptolemajevim in Kopernikovim sistemom z ugotovitvijo, da Kopernikov sistem ni niti enostavnejši niti točnejši od Ptolemajevega, metode obeh so podobne. Njegov dokončni sistem tudi ni skladen s prvotnim osnutkom sistema, kot ga je Kopernik podal v svojem zgodnejšem delu *Commentariolus*. Iz svoje heliocentrične domneve Kopernik ni mogel izpeljati ene same in enovite kombinacije krožnic, ki bi po enovitem načelu sledile ena drugi, a tudi njegovi nasledniki tega (še dolgo) niso zmogli. Kopernik je po Kuhnu zavrnil ptolemajsko tradicijo predvsem zato, ker je odkril, da so »matematiki (tj. zgodnji astronomi) nekonsistentni v astronomskih raziskavah«. Če njihove hipoteze ne bi zavajale, bi lahko preverili vse izreke, ki izhajajo iz njih, je menil Kopernik, a tega očitno ne moremo storiti. Toda, kot ugotavlja Kuhn, enak ugovor bi lahko zoper Kopernika dal kak nov »Kopernik« (Kuhn, 1979, 171). Zaradi teh mankov bi lahko dejali, da bi kak popravljen geocentrični sistem, kot je bil npr. Brahejev, popperjansko gledano, imel celo prednost pred Kopernikovim, kajti bil bi bolj v skladu s tradicijo (ne bi uvajal nepotrebnih in težko verjetnih inovacij) in morda bi shajal z manj nepotrebnimi dodatki in *ad hoc* domnevami, kot sta jih poznala Ptolemaj in Kopernik. Kuhn malo dalje celo

⁶ No, čisto kinematski ta sistem le ni bil, ker je predstavljal tudi zametke dinamike, zlasti v trditvah o enakomernem vrtenju krogelnih teles okrog svojih osi in o stacionarnih krožnih tirih takšnih teles okrog središčnih teles. Tu je impliciran zakon o ohranitvi vrtilne količine homogenih krogelnih teles in (približno) točkastih teles, ki enakomerno krožijo okrog nekega središča. Kopernik je o tem pisal v svoji knjigi, ko je branil naravnost in enostavnost krožnih gibanj planetov okrog Sonca in vrtenja Zemlje okrog svoje osi (Kopernik, 2004, 57–9).

držno trdi, da je bila edina prednost Kopernikovega sistema pred Ptolemajevim bolj estetske narave kot pa pragmatika. Izbira med obema sistemoma naj bi bila torej bolj stvar okusa kot stvarnih razlogov.⁷ Kopernikov sistem je v očeh sodobnikov podajal večjo notranjo povezanost med gibanji nebesnih teles in večjo estetsko dovršenost, ti dve kvaliteti pa naj bi bili za Kopernikove sodobnike in naslednike odločilni (prav tam, 172). V tej oceni se je Kuhn nedvomno motil, kajti videli smo, da je bila kopernikanska »estetika« tudi stvar stvarnih astronomskih razlogov in logične skladnosti, ne zgolj nekakšnega celostnega vtisa psihološko-estetske vrste. Heliocentrični sistem, kakorkoli nepopoln je že bil, je vendarle obetal nekaj novega in korak v pravo smer, predvsem se je zdelo, da omogoča povezavo med »zemeljsko« fiziko in »nebeško« matematiko, torej prav tisti korak, o katerem je pisal Averroes.

2. Od opisa k razlagi: Keplerjev prelom od kinematike k dinamiki nebesnih teles

Če je temu tako, potem se vprašajmo, kdaj pa se je tedaj zgodil odločilni preobrat v astronomiji oziroma fiziki, ki je onemogočil povratek na staro? Mislim, da prav tam in tedaj, ko se dejansko spojita fizika in astronomija. To se je v celoti zgodilo šele z Newtonom, a resna napoved te sinteze je bila podana že s Keplerjem. Kepler je namreč ugotovil, da planetni tiri ne morejo biti krožnice, temveč elipse. Sonce ni v središču elips, temveč v enem od žarišč elips. Ta modifikacija je terjala takojšno »fizikalno« intervencijo, namreč vzročno razlago dejstva, da planetni tiri niso krožnice, temveč elipse. Poleg tega po Keplerjevih zakonih planeti po elipsah ne potujejo niti z enako linearno hitrostjo, niti z enako kotno hitrostjo, temveč po bolj zapletenih razmerjih, ki jih terja drugi Keplerjev zakon. Neenakomerno eliptično gibanje planetov zato po mnenju Keplerja in drugih astronomov, ki so sprejemali njegove zakone, ni več »naravno«, temveč »vsiljeno« gibanje, ki potrebuje trajni zunanji impetus. Galilei se je npr. ustrašil posledic Keplerjeve teorije za heliocentrično astronomijo, ker odstopa od ideala krožnih gibanj nebesnih teles

⁷ Podobno je o razmerju med staro in Kopernikovo astronomijo menil Feyerabend. Po njegovem mnenju kopernikanski sistem ni bil niti enostavnejši od ptolemajskega niti ni vodil do boljših napovedi, občasno je natančnost kopernikanskih izjav celo manjša kot pri ptolemajskih izjavah. Tudi če upoštevamo kasnejša Galilejeva odkritja (hrapavost Lune, Venerini krajci, poti sončnih peg) ni odločilnih prednosti kopernikanskega sistema, kajti te pojave lahko pojasnimo s Tycho Brahejevim »kompromisnim« sistemom, po katerem Sonce kroži okrog Zemlje (Zemlja skupaj z Luno), vsi ostali planeti pa okrog Sonca (Feyerabend, 1999, 187).

in ni znal več povezati Keplerjevih dognanj niti z aristotelsko fiziko, niti s tisto »novo« fiziko, ki jo je sam razvijal. Zato je odklonil vse Keplerjeve zakone in tudi Keplerjeve poskusne razlage zanje. To nam jasno pove, kako težko je bilo celo tedanjim najbolj prodornim glavam slediti konsekvencam Kopernikove ideje in kako trdno so bili vezani na določene tradicionalne fizikalno-astro-nomske predpostavke.⁸

Enakomerna krožna gibanja so imela nedvomen privilegij v vsej doteda-nji astronomiji (in fiziki), veljala so namreč za »naravna«, tj. gibanja, ki tečejo sama od sebe (potem ko se enkrat začnejo). lahko bi dejali, da so imela status vztrajnostnih gibanj za tedanjo fiziko. Nekateri sholastiki bi dejali, da se gibalni impetus v idealnih krožnih gibanjih brez trenja nikoli ne izčrpa. Enakomerno krožno gibanje na prvi pogled res ne potrebuje nobene zunanje sile, saj se gibajoče se telo nenehoma vrača v isto »začetno« lego, tj. gibanje se nekako zaključuje samo v sebi. Vsako odstopanje od enakomernih krožnih gibanj torej terja posebno razlago, terja nek vzročni dejavnik, ki *stalno* deluje na planet in povzroča odklik od krožnice in od enakomernega gibanja po njej. Ker je Sonce centralno telo, ki se po Keplerju le vrti okrog svoje osi, je logično predpostaviti da prav Sonce s svojim položajem in s svojim vrtenjem nekako poganja planete v gibanja okrog sebe. Kopernik je tako prišel na »vrtoglavo« zamisel o sili pritega (težnosti), ki po vzoru magnetne sile deluje na planete, tako da jih obenem privlačuje k sebi in poganja po polkrožnih tirih okrog Sonca. Predlagal je celo osnovni zakon te sile. Omenjena magnetna sila naj bi upadala obratno soraz-merno z razdaljo planeta od Sonca, nekako tako kot upada gostota svetlob-nih žarkov, ki izhajajo iz nekega žarišča, če to upadanje opazujemo na ploskvi. Kepler je namreč predpostavljal, da planeti krožijo približno po isti ravnini, tj. po ravnini ekliptike, tako da lahko opazujemo ves sistem kot ravninski sistem.⁹

⁸ Žal je bilo tudi obratno res. Tudi Kepler ni sprejel vseh Galilejevih odkritij, npr. opa-zovanj z daljnogledom, kajti daljnogled se mu je zdel načelno sumljiva priprava za opazo-vanje »eteričnih« sfer neba, kjer naj bi vladala čisto druga optika kot na Zemlji in v njeni bližini. Zato Kepler tudi ni zgradil daljnogleda za lastno opazovanje, s čemer je verjetno precej škodil razvoju lastne teorije (gl. Feyerabend, 152).

⁹ Kasneje je Kepler ugotovil, da se je motil, kajti planeti so kroglasta telesa, prav tako kot Sonce, zato moramo upoštevati prostorski model in opazovati upadanje magnetne sile Sonca v prostoru. To pa nam da drugačen zakon, namreč zakon obratnega kvadrata: privlačna sila med Soncem in planeti upada obratno sorazmerno s kvadratom razdalje. To je podobno Newtonovemu oz. še prej Huygensovemu zakonu gravitacijske sile (Hoyle, 1979, 118). Vendar pa ostareli Kepler ni več zmogel dalje analizirati posledic te spremem-be, primanjkovalo pa mu je tudi matematičnega znanja, sicer bi lahko v načelu prišel do Newtonove teorije gravitacije. Zanimivo pa je, da je Kepler prav ob predpostavki svojega prvotnega zakona o upadanju magnetne sile Sonca z razdaljo in neke druge, prav tako napačne matematične predpostavke o računanju ploščine krivinskih trikotnikov na elip-

Naj poudarim, da tudi Kepler, kot tudi njegov sodobnik Galilei, implicitno pa tudi Kopernik, sprejemajo klasično idejo vztrajnostnega zakona, po katerem je enakomerno krožno gibanje »naravno« gibanje, ki ne potrebuje nobene sile, oziroma nobenega dodajanja gibalnega impetusa.¹⁰ »Zakon sile«, ki bi izhajal od tod in bi »pojasnil« eliptične tire planetov okrog Sonca, bi moral biti torej matematično precej bolj zapleten, kot je bil kasnejši Newtonov drugi zakon sile ob predpostavki drugačnega zakona vztrajnosti, namreč zakona, po katerem je za vsako nelinearno in neenakomerno gibanje potrebna sila (na to formulacijo zakona vztrajnosti je že prej prišel Descartes). Tu moramo upoštevati vsak odklik od premice, ne pa od krožnice, kot bi to izhajalo iz Galilei-Keplerjevega zakona vztrajnosti. Pa vendar je tudi Keplerjeva formulacija zakonov gibanja planetov implicirala nek zakon sile in še posebej zakon težnosti, ta dva (in po potrebi še drugi zakoni) pa bi bila nujno *dinamična*, vsebovala bi *fiziko*, zgrajeno na matematični podlagi, ki bi enakopravno zajemala zemeljska in »nebeška« (tj. astronomska) gibanja. Tu je šlo že za poskus fizikalne *razlage* gibanj, ne le za matematično natančen *opis* gibanj. Zato je bila šele ta sprememba resnično slovo od srednjeveške dediščine in to tako od platonizma, aristotelizma in ptolemajstva. Od platonizma zato, ker je bilo to slovo od »reševanja fenomenov« s pomočjo geometrije in katerihkoli idealnih bitnosti,¹¹ od aristotelizma zato, ker je ukinila načelno razliko med (ze-

si, dobil pravilen rezultat, namreč svoj drugi zakon gibanja planetov, po katerem tirnica Sonce-planet v enakih časovnih intervalih popiše ploščinske trikotnike z enako ploščino (Oeser, 1979, 167–8). Imamo zanimivo epistemsko situacijo, ko nek znanstvenik dobi empirično pravilen rezultat ob napačnih premisah (razlogih), vendar *resničnost* drugega Keplerjevega zakona ne *izhaja* iz podanih premis, pa čeprav je ta zakon po svoji formi *logično* izhaja iz obeh premis. To ne predstavlja (znanstvenega) znanja, temveč neke vrste logično in matematično podprto, a vendar le srečno ugibanje (gl. Ule, 1996, 51–4).

¹⁰ Morda gre le za nerazlikovanje med zakonom vztrajnosti, ki govori o »enakih gibanjih v enakih časovnih intervalih« in zakonom o ohranitvi vrtilne količine, ki pravi, da se enakomerno krožno gibanje brez trenja in brez delovanja kakih zunanji sil na krožeče telo ohranja poljubno dolgo. Gibalna količina krožečega točkastega telesa je enaka vektorskemu produktu gibalne količine in radij-vektorja od središča do telesa. Ta količina se ohranja, če na telo ne delujejo zunanje sile oz. vrtilni momenti. Tedanja mehanika nedvomno ni omogočala razlikovanja teh dveh zakonov. To je dopuščala šele Newtonova mehanika.

¹¹ Točneje rečeno, Kepler se je »poslovil« od reševanja fenomenov v antičnem smislu, tj. tolmačenja neregularnih gibanj nebesnih teles ob pomoči krogov, vendar se ni odpovedal »reševanju« ob pomoči čim enostavnejših matematičnih modelov razlage (elipso je zato imel za »popolno«, tako kot krog, a na drug način), Galilei pa je matematično »reševanje« fenomenov posplošil na vse fizikalne pojave, ne glede na to, ali so na nebu ali na Zemlji. In končno so Newton in drugi fiziki posplošili to metodo na matematično formuliranje »zakonov mehanike«, ki veljajo univerzalno za ves kozmos. Za razliko od antične, pretežno spekulativne in kvalitativne metode hipotez pa so novi fiziki terjali metodično in natančno izmerljivo preverjanje posledic hipotez v opazovanjih in eksperimentih (več o tem v Mittelstrass, 1982, 218–222, 243–245, 259–265).

meljsko) fiziko in astronomsko matematiko ter zaradi zakonov vztrajnosti, od Ptolemaja (in drugih astronomov) zaradi heliocentrizma in predstave o krožnih gibanjih planetov. Seveda ta slovo ni bilo popolno, nekateri elementi teh starih nazorov so bili še vključeni v novo nastajajočo znanost, npr. platonski koncept matematično formuliranih zakonov narave, aristotelški koncept razlikovanja »naravnih« (tj. na samih sebi slonečih) gibanj in »nenaravnih« (vsiljenih) gibanj (ne glede na to, da je Aristotel napačno razlikoval med njimi, ko je npr. prosti pad teles proglašal za naravno gibanje proti središču Zemlje) in ptolemajsko zatekanje k zgolj instrumentalnim (*ad hoc*) hipotezam, ki ponujajo matematično ugodne rešitve, v kolikor ni bilo na voljo realističnih (vzročnih) hipotez. Razlike so bile nedvomno pomembnejše kot podobnosti, zato je napredek novoveške znanosti pomenil vedno večje oddaljevanje od navedenih zgodovinskih izvorov astronomije in fizike.

Toda niti ni bilo najpomembnejše to, čemur je bilo tedaj treba dati slovo, temveč *inherentna* dinamika razvoja znanosti, ki se je tedaj odprla. Mislim, da sta tedaj fizika in astronomija postali vedi, ki sta bili zasnovani na njima lastnih univerzalnih zakonitostih fizikalnega gibanja materialnih bitnosti, na katere v načelu ni mogel vplivati noben eksterni dejavnik več (npr. družbeni, kulturni, religiozni razlogi in pritiski). Ključna točka v tem dogajanju se mi zdi formulacija Keplerjevih zakonov, čeprav jih je Newton kasneje dokaj modificiral in danes ne veljajo v originalni, Keplerjevi obliki. Keplerjevi zakoni gibanja planetov so predstavljali prve resnično univerzalne zakone gibanja, ki so zajemali tako Zemljo kot druga nebesna telesa. Formulirani so bili v strogi ter razmeroma enostavni matematični obliki. Izkazali so se za dokaj uspešne v napovedovanju pojavov, vsekakor za točnejše od vsega do tedaj proizvedenega.¹² Toda najpomembnejše je bilo, da znanost ni mogla ostati zgolj pri njih, morala se je pomakniti od *kinematike* k *dinamiki* in s tem od *opisa* k fizikalni *razlagi* pojavov. Ta premik je bil v glavnem delo Newtona (a delno tudi Descartesa, Huygensa idr. teoretikov). Inherentna logika razvoja znanosti (predvsem fizike) je postala vse močnejša. Znanost je spremenila

¹² Kepler sam je ugotavljal, da šele njegov sistem lahko upravičeno zagovarja *realnost* gibanja Zemlje okrog Sonca in njenega vrtenja okrog osi, medtem ko je bil Kopernikov sistem (in podobno Brahejev) le »geometrijski«, torej bi ga lahko tolmačili čisto instrumentalno (kot je predlagal že Ossiander v »svojem« virtualnem predgovoru v *De revolutionibus*. Kepler je menil, da je prvi storil korak k fizikalni astronomiji brez »matematičnih« hipotez ali fikcij. V njegovi teoriji je sila, ki drži skupaj planetni sistem, fiksirana v Soncu, gibanje planetov pa na večjo ali manjšo emanacijo te sile iz Sonca. To potemtakem niso več neke pomožne hipoteze, meni Kepler, temveč »dejanska resnica«, ki je tako trdna kot so zvezde. Po Keplerjevem mnenju mora astronomija ugotavljati verjetne vzroke svojih hipotez, ki jih predlaga kot prave vzroke pojavov. Zato moramo načela astronomije najprej utrditi v višji znanosti, kot je fizika ali metafizika (nav. po Gardner, 1983, 256).

svoje »agregatno stanje«, kot pravi Hans Blumenberg v svoji monografiji o kopernikanski revoluciji (Blumenberg, 2001, 123). Ugotavlja, da ostreje, ko se izoblikuje notranja logika razvoja znanosti, manj lahko na potek raziskovanja vplivajo heterogeni pogoji. »Povedano drugače: spoznanje se realizira tako, da ga od zadaj potiska naprej njegov lastni pogon, in ne tako, da bi ga od spredaj nekako izzivala destrukcija zapadlih dejavnosti« (prav tam). Le na videz nenavadno sovpadanje dogajanja je bilo v tem, da se je ta notranja dinamika razvoja znanosti razvila prav ob in skozi različne domneve o fizikalni dinamiki od sholastičnih teorij impetusa dalje in je dobila svoj veličastni pečat z Newtonovo mehaniko.

3. Konceptualna in metodološka zasnova »nove znanosti« pri Galileju

Seveda se nam tu nujno zastavlja vprašanje, kje je tu mesto Galileja, ki se mu običajno pripisuje veliko pomembnejša vloga v novoveški znanstveni revoluciji, kot se zdi na podlagi moje razlage. Običajno se mu pripisuje kar »izum« novoveške fizike oziroma celo novoveškega naravoslovja. Mislim, da so te teze pretirane in neupravičene. Galilei je bil vsekakor spreten retorik in polemik in je veliko prispeval k razjasnitvi ideološkega polja okrog kopernikanizma, predvsem k razlikovanju med filozofsko-metafizičnimi diskurzi in imanentno znanstvenim (fizikalno-matematičnim) diskurzom. V tem pogledu se strinjam s Feyerabendom, ki meni, da je deloval kot velik propagandist kopernikanizma. Strinjam se tudi z Feyerabendovo tezo, da je uspel pregovoriti občinstvo v to, da so počasi sprejeli nove oblike izkustva oziroma nove oblike interpretacij izkustva, ki so bile v skladu s heliocentrizmom in z gibanjem Zemlje, ne pa z geocentrizmom in statično Zemljo. Seveda je moralo biti to občinstvo že pred tem ustrezno mentalno naravnano na to, da sprejme galilejske razlage in razloge in novo gledanje na lastno vsakdanje izkustvo. Za to je poskrbela tedanja celotna ideološko-kulturna klima, od humanizma in renesanse, prek novih odkritij, ki so deževala od vsepovsod do religiozne krize (reformacija). Galileju se pripisuje vrsto fizikalnih odkritij (npr. odkritje Jupitovih lun, zakona prostega pada, zakona vztrajnosti, gibanja teles ob metu ipd.), pri čemer nekatera opazovanja in poskusi, o katerih piše Galilei, vzbujajo sicer dvom, koliko jih je Galilei zares opravil, ker o njih nimamo zadostnih pričevanj. Utemeljena je domneva, da je Galilei do teh odkritij prišel bolj po metodi miselnih eksperimentov kot z dejanskimi poskusi. Na podlagi Galilejevih opisov opazovanj površja Lune, Venerinih men in Jupitrovih lun lahko rečemo, da jih je Galilei res opravil (a še tu ni imel vedno sreče, ker opazovalci kdaj pa kdaj niso mogli ponoviti teh opazovanj, npr. niso mogli opaziti enake po-

vršinske strukture Lune, kot o njej poroča Galilei, včasih tudi niso opazili Jupitrovih lun) (Koyré, 1978).¹³

Bistven Galilejev prispevek h kopernikanski revoluciji je bil konceptualen in metodološki, namreč zasnitek znanstvene metode, ki združuje matematično zgradbo narave s kar se da natančnim testiranjem hipotez. Galilejeva raba hipotez je le del njegovega širšega postopka ti. analitično-sintetične metode, po kateri moramo najprej dobiti začetne kvantitativne podatke o fizikalnem gibanju dogajanja. Te podatke dobimo z ustreznimi meritvami. Nato posežemo po ustreznih idealizacijah in posplošitvah, ob tem pa skušamo s pojmovno (logično) analizo priti do najpreprostejših hipotez o zakonih dogajanja, ki ga raziskujemo. Znak te preprostosti je matematična enostavnost razmerij med količinami, ki jih predpostavljamo v opisu dogajanja (danes bi rekli morda, da poskušamo doseči matematičen opis v obliki zveznih in odvedljivih funkcij). Izhajajoč iz teh elementarnih domnev gradimo kompleksnejše logično-matematične izjave v obliki splošnih hipotetičnih stavkov o odnosih med pojavi, natančnejše, med količinami. To so domneve o zakonih narave, o tem, kaj je

¹³ Naj omenim še eno pomembno točko preobrata, za katero je bil odgovoren Galilei. Kopernik je domneval, da naj bi Venera v različnih časih dajala podoben videz kot Luna, tj. različne osvetljene polmesece, ščipe ali mlaje, pač glede na to, v kakšnem odnosu je Venera tedaj glede na Sonce in Zemljo. Če bi bila Venera vezana na epicikel, ki se vrti okrog Zemlje, potem bi bilo središče epicikla vedno poravnano s Soncem, kot je domneval Ptolemaj, potem bi opazovalec vedno lahko videl le konstantni krajec planeta. Če pa Venera kroži okrog Sonca, potem bi opazovalec lahko videl razne Venerine »faze«, tj. razne krajece, oz. skoraj popoln cikel teh faz (dejansko Galilei ni opazil Venerinega ščipa) (po Kuhn, 1957, 223). Kopernik ni verjel, da bo mogoče kdaj opazovati to dogajanje, ker je pač Venera predaleč od nas. In vendar je Galileju uspelo potrditi Kopernikove napovedi ob pomoči svojih opazovanj z daljnogledom. Celo če zanemarimo pomisleke zoper rabo daljnogleda pri opazovanju teles nad Lunino sfero, ki so jih v času Galileja postavljali razni astronomi (tudi Kepler, kot sem že omenil), je zelo težko ovreči ta opazovanja, kajti ne gre za opažanje kakih spornih detajlov na Venerini površini (primerljivimi z Galilejevimi spornimi opisi opazovanj detajlov na Lunini površini), niti ne za opazovanje neznanih nebesnih teles, ki bi krožila okrog Venere, kot je bilo to v primeru opažanja Jupitrovih lun, temveč za zelo regularno spreminjanje osvetljenosti Venere, ki ga ni bilo mogoče razložiti s kakimi optičnimi prevarami ali posebnostmi nadlunarnih »eterskih« sfer. Poleg tega podobnost Venerinih in Luninih faz dokazuje, da tako Luna kot Venera odbijata Sončno svetlobo in nimata svoje svetlobe, tako kot tudi ne Zemlja. S tem se posredno dokazuje enovitost vseh planetov (in Zemlje), kar je tudi podiralo staro pojmovanje o načelnih razlikah med zemeljskim oz. podlunarnim in nebesnim (nادلunarnim) svetom. Tudi Galilei sam je imel opažanje Venerinih men poleg plimovanja za izjemno močan dokaz pravilnosti kopernikanske teorije (Kuznecov, 1970, 45). Kasneje so sicer branilci tradicionalnih pogledov skušali preinterpretirati ta opažanja na »aristotelski« način, vendar ob številnih *ad hoc* domnevah. Res pa je, da se lahko Venerine mene razložijo tudi v okviru Tycho Brahejevega sistema, toda ta sistem sam je kompromis med ptolemajskim in kopernikanskim sistemom.

zapisano v veliki »knjigi narave«, kot bi dejal Galilei. Na podlagi teh domnev izberemo določene antencendense oziroma začetne pogoje in določimo, izračunamo izmerljive posledice teh pogojev.¹⁴ Te posledice naj bodo kar se da izrazite in po možnosti nepričakovane. Tedaj krenemo v metodično opazovanje ali v eksperiment, kjer čim bolj natančno realiziramo izbrane začetne pogoje. Končno preverimo (izmerimo), ali se pojavijo napovedane posledice.

Lahko bi dejali, da je Galilei na nek način anticipiral popperjansko idejo podpore hipotez s pomočjo natančnih, izrazitih ali »nepričakovanih« rezultatov hipotez, vendar pa je po drugi strani tudi odstopal od te ideje, ker je izhajal tudi iz začetnih induktivnih posplošitev iz čim bolj enostavno opisljivih pojavov, od koder je po idealizaciji in miselni analizi sklepal na matematično izrazljive odnose med pojavi (količinami). V kolikor so bili eksperimenti in meritve v skladu z napovedmi, v toliko so bili ti rezultati vsaj delna in posredna potrditev vse verige argumentov, od začetnih, elementarnih predpostavk do podane hipoteze, ne le hipoteze, ki je služila za podlago eksperimenta. Galilejeva metoda je torej induktivno-deduktivna, ne zgolj deduktivno-hipotetična, kot se jo včasih prikazuje (npr. Wartofsky, 1968, 84, 458, 463–5).¹⁵ Zato raje govorim o *teoretično-empirični* metodi, kjer »teoretično« vsebuje pojmovno analizo, idealizacijo in matematično modeliranje sistemov in procesov, miselne eksperimente, konstrukcijo hipotez in teorij, aksiomatizacijo, formuliranje vzorčnih modelov razlage, »empirično« pa metodično eksperimentiranje in opazovanje, natančne postopke merjenja in induktivne posplošitve iz zbranega izkustvenega gradiva.

Galilei je k napredku kopernikanske revolucije kot *znanstvene* revolucije prispeval metodični zasnutek vse nadaljnje naravoslovne znanosti ter dal nekaj zasnutkov fizikalnih zakonov, ki zajemajo tako zemeljski svet kot kozmos, vendar so jim šele kasnejši fiziki dali natančnejšo oziroma pravilnejšo

¹⁴ V teh zahtevah Galilei ni bil sam, tudi nekateri drugi tedanji filozofi in naravoslovci so zastavljali podobne zahteve, vendar niso prišli dlje od zahtev. Galilei pa se je dejansko lotil naloge, na tej podlagi zgraditi »novo« znanost. Le Keplerja bi tu lahko postavili ob bok Galileju. V svoji *Apologia Tychonis* je Kepler pisal, da postavljamo hipoteze najprej kot matematično oblikovano sliko narave, nato si ogledamo njihove posledice, te pa primerjamo z opaženimi dejstvi in s tem ugotavljamo njihovo veljavnost. Cassirer je imel zaradi teh stališč Keplerja za »pravega logika naravoslovne hipoteze« (povz. po Mittelstrass, 1982, 220).

¹⁵ Kot ugotavlja Losee, pa Galilei ni imel enoznačno pozitivnega stališča do metode eksperimentov. Včasih je namreč pisal, da je eksperimentalna potrditev hipoteze relativno nepomembna. Ko je npr. izpeljal hipotezo o spreminjanju dosega izstrelka glede na kot izstrelitve, je pisal, da »poznavanje posameznega dejstva, ki ga dobimo z odkritjem njegovih vzrokov, pripravi duh na razumevanje in pridobivanje drugih dejstev brez opore v eksperimentu« (nav. po Losee, 1980, 56). Včasih se tudi izogne eksperimentom in opažanjem, ki nasprotujejo njegovim domnevam (prav tam, 56–8).

podobo. To so bili prvenstveno zakoni kinematike: načelo relativnosti gibanj, zakon o razmerju med dolžino poti telesa in časom gibanja pri enakomerno pospešenem gibanju in zametki dinamike: zakon vztrajnosti in zakon o ohranitvi vrtilne količine ter zakon o padanju teles v težnostnem polju (neodvisnost padanja od mase in velikosti teles, konstantnost težnega pospeška v bližini Zemlje). Skupaj s Keplerjevimi zakoni o gibanju planetov so ti prvi predlogi matematično opisljivih naravnih zakonov predstavljali osnovo in standard znanstvenemu raziskovanju za vse naslednike. Povratak nazaj ni bil več mogoč.

Galilejeva teoretično-empirična metoda raziskovanja se je v modificiranih oblikah nedvomno uveljavila v vrsti znanosti, predvsem seveda v fiziki. Newton je bil eden od njenih glavnih predstavnikov, s tem, da je to metodo še dalje izpopolnil v svojih metodoloških pravilih. Toda glavni filozofski problem in izziv te metode je bila po mojem intrinzična zveza med matematičnimi modeli fizikalnih sistemov in procesov ter eksperimenti in meritvami, s katerimi se je dalo podpreti ali ovreči določene empirične hipoteze. Ta zveza je pravzaprav še danes problem in izziv za teoretike znanosti in epistemologe. Novoveška filozofija se je morda prav v poskusu odgovora na vprašanje, kako je mogoča tako uspešna sinteza matematike in izkustva, razcepila na racionalistično in empiristično krilo. Prvo krilo je zagovarjalo idejo, da je sama narava konec koncev zgrajena na apriorno veljavnih načelih, razum pa na nek način odkrije te apriorne vzorce znanstvene razlage sam v sebi, ker so mu nekako »vrojeni«, drugo krilo pa je zagovarjalo idejo, da razum zgolj ureja tok izkustva in so vsi zakoni narave zgolj posplošitve iz izkustva, njihova matematična oblika pa je stvar naše mentalne ureditve in čim bolj ekonomičnega prikaza teh posplošitev. Nobena smer ni zmogla rešiti problema, pa tudi kasnejša Kantova »transcendentalna« nadgradnja empirizma in racionalizma ne. Sodobni spori med realizmom in antirealizmom so oddaljeni odmev teh nasprotij, oziroma so odmev temeljnega vprašanja, kako lahko pojasnimo neznanjski uspeh galilejske metode in njene naravnost neverjetne sinteze matematike in izkustva.¹⁶

¹⁶ Galilei ni bil platonik, kajti platonik bi vztrajal pri tezi, da so realni predmeti vedno nepopolni v primerjavi z matematičnimi predmeti, torej matematike nikoli ne moremo v celoti uporabiti na svet. Toda po Galileju uporabimo matematiko na *idealizirane* pogoje izkustva, ti pa se natančno ujemajo z določenimi matematičnimi domnevami oz. modeli. Zato lahko pojavi poljubno natančno ustrezajo pravilom, dopustne napake našega spoznanja pa izhajajo le iz interference načelno določljivih zakonitosti na njihovih predmetih. Če pa že gre za nekakšen platonizem, potem je to zelo »nenavaden«, kot je menil že Cassirer (nav. po Blumernberg, 2001, 375–6).

Literatura:

- Blumenberg, H. (1998): *Paradigmen zu einer Metaphorologie*. Suhrkamp, Frankfurt/M.
- Blumenberg, H. (2001): *Geneza kopernikanskega sveta*. CZ.
- Gardner, M: R. (1983): »Realism and Instrumentalism in Pre-Newtonian Astronomy«. V: J. Earman (ur.), *Testing Scientific Theories*. *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, Vol. X, University of Minnesota Press, Minneapolis.
- Feyerabend, P. (1999): *Proti metodi*. SH, Ljubljana.
- Hoyle, F. (1971): *Astronomija*. MK Ljubljana.
- Kopernik, N: (2004): *O revolucijah nebesnih sfer. De revolutionibus orbium caelestium*. Založba ZRC, Ljubljana.
- Kuhn, T. (1957): *The Copernican Revolution*. Harvard University Press, Cambridge/M.
- Kuhn, T. (1998): *Struktura znanstvenih revolucij*. Krtina, Ljubljana.
- Kuznecov, B. G. (1970): *Von Galilei bis Einstein. Entwicklung der physikalischen Ideen*. C. F. Winter Verlag, Basel.
- Loose, J. (1980): *A Historical Introduction to the Philosophy of Science*. Oxford University Press, Oxford.
- Mittelstrass, J. (1982): *Die Rettung der Phänomene*. W. de Gruyter, Berlin.
- Oeser, E. (1979): *Wissenschaftstheorie als Rekonstruktion der Wissenschaftsgeschichte*, 1. Oldenburg Verl., München.
- Popper, K. (1981): »The Rationality of Scientific Revolutions«. V: I. Hacking (ur.), *Scientific Revolutions*. Oxford University Press, Oxford.
- Ule, A. (1996): *Znanje, znanost in stvarnost*. ZPS, Ljubljana.
- Wartofsky, M. W. (1968): *Conceptual Foundations of Scientific Thought. An Introduction to the Philosophy of Science*. The Macmillan Company, New York, London.